图书情报工作
第 62 卷 第 24 期 2018 年 12 月



# $Q^2$ *SRC*-指数：基于情境的科学家科研生产力评价指标研究*

赵丽梅[1,2] 马海群[1]
[1] 黑龙江大学信息资源管理中心 哈尔滨 150080 [2] 黑龙江大学哲学博士后流动站 哈尔滨 150080

**摘要**：［**目的/意义**］科学家科研生产力一直是业内学者研究的焦点，主要从科研成果数量和质量（被引）两方面对其进行评价。以往科学家科研生产力的一些评价指标认为不同研究领域的论文质量和科学家的引用行为呈现迥异性特征，不仅可以跨领域对科学家科研生产力予以测定，而且可以跨越学术级别、依据机构规模或者参照不同期刊成果对其进行评价。但是以往的评价指标不仅忽略科学家所处的情境（*Context*）特征——科研评价中同一机构不同学术等级的职业晋升阈值要求是有差异的，而且不同机构对同一学术等级的职业晋升阈值要求也是有差异的，而科学家所处的情境特征正是其科研努力的参考标准，而且科研成果中合作科学家的知识贡献往往容易被忽略，这并不符合大科学时代的科研需求。［**方法/过程**］融合以往评价指标的研究成果和针对以往评价指标存在的局限，提出了 $Q^2SRC$ – 指数以从多个维度综合评价科学家的科研生产力，不仅关注成果的数量和质量（*Q&Q*, $Q^2$）、研究的主题领域（*S*）、科学家在其合作成果中的排序（*R*），而且强调科学家所处学术情境（*Context*）的特征。［**结果/结论**］该指标不仅提出了跨学科情境下综合评价科学家科研生产力的理论模型，而且具有重要的实践应用价值，即可作为科研评价中科学家学术晋升的参考依据，特别是科研评价中学术级别晋升数量有限的情况下，该指标是重要的客观综合标准。

**关键词**：文献计量学指标　$Q^2SRC$ – 指数　科研生产力　学术级别晋升　人才评价
**分类号**：C93 – 03
**DOI**：10.13266/j.issn.0252 – 3116.2018.24.015



## 1 引言

作为基础创新研究领域的人力资本表征，科学家科研生产力一直是学者们所感兴趣的研究主题。最早可以追溯到洛特卡的相关研究，将其定义为科学家科研产出成果的数量[1]，开启了采用成果数量来评价科学家科研生产力的研究范式[2]。后续很多学者都意识到仅用成果数量来评价科学家科研生产力是不全面的，因为科研成果的质量被忽略了，因此学者们又提出很多指标从数量和质量两个方面来测定科学家的科研生产力，诸如 *h* 指数[3]、*g* 指数[4]。甚至科研成果质量被认为是超越数量评价维度的评价依据，如 *SP* 指数[5]等。由于不同科研领域引用行为的差异[6]以及体现不同学科领域期刊数量的差异[7]，出现了用于横向比较不同领域的科学引用行为或比较不同领域知识创新成果质量的评价指标，如 *fi* 指数[6]和成功（*success*）指数[8]等。与国外相比，虽然国内有关科研生产力评价指标研究相对较少，多数都是评价指标体系构建或者方法模型研究[9-11]，但是不乏经典研究，诸如叶鹰教授提出的 *f* 指数和多变量评价指标，其中 *f* 指数综合了数量与质量因素，普适于学科、国家机构、期刊、学者等多层面的学术排序[12]，多变量指标为学术评价提供了结合集成发文量和 *h* 指数优势的多维视角，可以用于评价个体、团体等对象维度的科研生产力评价[13]。

基于以往研究指标的多维启示，本文提出 $Q^2SRC$ – 指数来评价科学家的科研生产力，也可以称之为 *T* –

* 本文系国家博士后基金面上项目“主体间性视域的高校科研团队知识创新研究”（项目编号：2015M571451）和黑龙江省高校基本科研业务费黑龙江大学专项资金项目“基于主体间际网络的高校科研团队知识创新及可持续机制研究”（项目编号：HDRC201616）研究成果之一。
作者简介：赵丽梅（ORCID：0000 – 0001 – 8781 – 9120），副教授，博士，E-mail：hdzhaolimei@sina.com；马海群（ORCID：0000 – 0002 – 2091 – 7620），教授，博士，博士生导师。
收稿日期：2018 – 03 – 07　修回日期：2018 – 08 – 28　本文起止页码：110 – 123　本文责任编辑：杜杏叶

指数，因为此指标全面考虑了科学家科研生产力的多维表征，在评价科学家科研生产力的时候，该指数将成果的数量、质量、作者在成果中的排列顺序、成果的相关研究领域以及主体所处学术情境的要求等都纳入科学家科研生产力的评价维度。在 $Q^2SRC$－指数中，$Q^2$ 指的是科学家成果的数量(*Quantity*)和质量(*Quality*)，*R* 指的是科学家在其科研成果中的排名次序，*S* 指的是科学家所发表成果的主题领域，*C* 指的是科学家所处的学术情境。

## 2 相关研究评述

对于一些新发表的科研成果而言，并没有多少成果来引用它们，因此 *h* 指数用于评价已经产生一定影响力科学家的科研生产力时是有效的，特别是用来评价成熟科学家的生产力是适用的，而对于年轻的而且其成果并没有产生一定学术影响力的科学家而言，如果采用 *h* 指数对其科研生产力进行评价，有些具有潜在影响力论文的作用无法凸显[12]。而且不同的研究领域，*h* 指数的差异会很大，所以在评价不同学科领域的科学家科研生产力是否处于同一学术级别，特别是在跨学科人才评价或者遴选的时候，采用 *h* 指数不尽理想。*g* 指数测定科学家的科研生产力所使用的是所有成果及其引用次数，但是对于评价那些科研成果暂时还处于睡美人状态的科学家生产力是不合适的，如同 *h* 指数，*g* 指数同样没有考虑不同主题领域科学家科研生产力的差异。

相对于 *h* 指数和 *g* 指数，*SP* 指数的优势在于考虑了科研成果的潜在影响力，认为科学家的科研生产力可以从两个方面来评价：所发表论文刊载期刊的平均影响因子以及其所发表成果的所有被引次数，在这个指标中，所有期刊的平均影响因子可以看作为科学家科研成果的潜在影响力，而科研成果的所有被引次数代表的是所有成果的累积影响。因此，虽然 *SP* 指数考虑了科学家科研成果的质量和数量，但是成果的质量因素显得尤为重要[5]。不同的科研领域展示出不同的引用行为[6]，不同的科研领域期刊数量也不尽相同[7]，因此 *fi* 指数考虑了学科差异，用于横向比较不同领域的科学家引用行为或比较不同领域知识创新成果的质量[6]。而在成功(*success*)指数中，综合考虑了科学家的级别、机构大小、成果刊载期刊的差异等诸多因素，用于测定不同领域科学家的科研生产力[8]。成功(*success*)指数与普赖斯定律的思想非常接近。

普赖斯定律主要以杰出科学家的科研生产力为研究对象，按照普赖斯对于杰出科学家的研究结论，评价杰出科学家的确定指标是 $m = 0.749\sqrt{n_{max}}$，此处 $n_{max}$ 表示某一主题研究领域科研生产力最高的科学家，凡是科研生产力不低于 *m* 的科学家就可以被认为其所属领域的杰出科学家。由于各个研究领域的 $n_{max}$ 是迥异的，因此普赖斯的研究也就表明了各个领域科学家的科研生产力有着极其显著的差别[14]。

*f* 指数是基于学科的评价指标，与 *h* 指数一样，所评价对象的学科选择具有决定性意义，对于涉及多个学科的科学家而言，综合多个学科的科研数据会提升其 *f* 指数，无法实现跨学科的比较研究[12]，多变量指标亦然如此[13]。

现在大科学研究时代的特点是思维体系的综合性和学科交叉的复杂性，因此复杂的科学研究需要来自多个不同学科的科学家共同进行科学研究以实现知识创新的目标，可以说一门学科可以对多个研究领域做出贡献，其科研生产力也可以在多个领域进行评价。*IPQ-Normalized IF* 指标提倡从跨学科或多学科视角对团队、机构或者作者的研究质量进行评价[15]。

在上述大多数评价指标中，将第一作者的科研生产力作为主要的评价对象，合作者的贡献容易被忽略，后续研究认为合作者的科研贡献应该纳入其科研生产力的测定范围，并应该按照他们在论文中的排名顺序分配贡献分值[16]。而且在现实中各个学术机构根据自身的学术环境或学术氛围，对科学家科研生产力有着适合自身情境的定义与解释，对于不同学术级别的科学家而言，最低阈值要求是不一样的，因此科学家的学术研究行为都反映了其所在情境对科研生产力的阈值要求，并按照相关阈值要求付诸相应的努力，所以科学家科研生产力具有严格的情境特征[17]。有些科学家在自身机构中显示出较强的科研生产力水平，但是与更大范畴的同行相比，也许其科研生产力只是处于较低的水平。但是在一些评价指标中，上述学术情境因素并没有考虑，在不同的学术机构中对于同一学术级别的最低阈值要求是不一样的。因此在评价科学家科研生产力的时候，不仅需要考虑其所在的研究领域，而且需要考虑科学家所处的学术评价环境的具体情境(*Context*)要求，特别是来自多个不同领域的科学家参与角逐同一学术级别晋升和人才评价的时候。

## 3 核心概念与研究方法

### 3.1 核心概念

科学家科研生产力的内涵与外延都是多维度的，

其内涵是指科学家在其研究的主题领域所发表成果中的累积知识贡献量，主要外延表征为科学家在成果中的知识贡献角色和努力而产生的科研成果数量和质量[17-18]。

在社会心理学中，情境是指影响事物发生或对机体行为产生影响的环境条件，也指在一定的时间内各种情况相对的或结合的境况，具有其特定的规定方向[19]。在本文中，情境指的是在评价科学家科研生产力的时候，可以表征科学家所处的学术组织情况或学术环境的信息[20]，能够反映科学家科研生产力评价的背景因素以及所需要遵循的规则[21]，而且情境是动态变化的，可以依据组织境况的不同而呈现差异化特征。

学术级别是指从事科学研究的科学家所拥有的专业学术能力以及所取得成就的等级，通常以专业技术职务任职资格（即职称）或各个级别人才称号来表征[22-23]。学术级别晋升指的就是科学家申请更高级别的专业技术职务任职资格或者争取获得更能彰显其学术水平的人才称号。学术级别晋升阈值是指满足更高学术级别任职资格或人才称号的科研生产力的最低要求或入门资格。

当涉及科学家的学术级别晋升或人才评价时，同一领域或不同领域的科学家之间都要主动或被动地为争取优势机会而展开竞争，所以在评价科学家科研生产力时，其所在的学术情境也应该作为重要因素加以考虑。



### 3.2　研究方法

在同一科研机构中，不同学术级别晋升对科研生产力最低阈值要求存在着很大的差异，甚至在同一科研机构，不同主题领域同一晋升级别的科研生产力最低阈值要求也是迥异的，所以科学家科研生产力的评价必须适合于其所处情境。一项科研成果可以隶属于多个主题领域，这也表明科学家所参与的一项科研成果可以对多个主题领域做出相应的贡献。为了计算其对各个主题领域的累积贡献量，需要采用如下步骤（指数提出逻辑流程见图 1）：

首先，分别对各个科学家在各自成果中的排名次序予以标记，这样就构建了科学家－成果矩阵：$S-P$（*Scientists-Papers*）。因为并不是所有成果都是同等重要的，需要利用矩阵 $S-P$（*Scientists-Papers*）和所有成果的权重来构建一个新的矩阵 $S-P(\omega)$。

其次，所有成果都有相应的主题领域，因此构建矩阵 $S-Sf$（*Papers-Subject Fields*）来表示成果与主题领域之间的隶属关系。

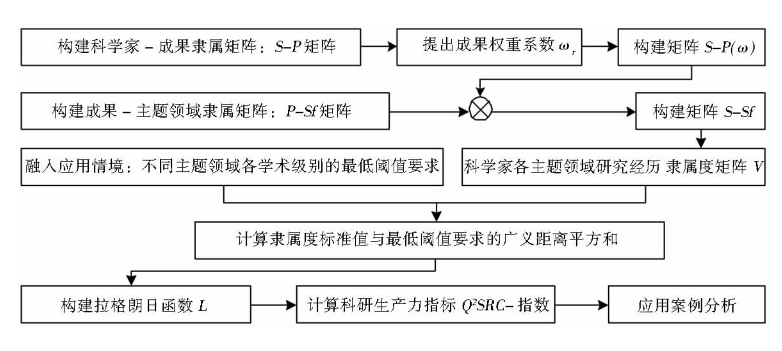


图 1　$Q^2SRC$－指数提出逻辑流程

最后，通过矩阵 $S-P(\omega)$ 和 $P-Sf$ 的乘积来创建矩阵 $S-Sf$（*Scientists-Subject Fields*）以表示科学家及其研究主题领域之间的隶属关系，即科学家对各个主题领域的累积贡献量。按照社会网络分析的观点，$S-P$ 矩阵、$P-Sf$ 矩阵和 $S-Sf$ 矩阵都是 2－模网络的表示形式，因为在整个网络中有两类行动者或节点集合[24]。

上述过程的具体算法需要采用 2－模网络矩阵构建和矩阵乘法来实现。由于不同主题领域科学家所发表的科研成果数量的差异性，需要将不同主题领域科学家的科研生产力进行标准化处理，即将矩阵 $S-Sf$ 的转置矩阵进行标准化处理后生成矩阵 $V$，矩阵 $V$ 中的每个元素都是相应科学家在某一主题领域相对于其同行或竞争者的标准化生产力指标。最后考虑学术情境因素，采用拉格朗日最优化分析方法计算不同主题领域做出不同知识贡献的科学家与不同学术级别的相关系数，进而对科学家的科研生产力予以评价，并将其作为科学家们所擅长领域的不同学术级别的科研生产力测定指标。

## 4　模型构建

### 4.1　构建 $S-P$ 矩阵和 $S-P(\omega)$ 矩阵

$S-P$ 矩阵是科学家－成果（论文）矩阵的简称，是科学家们与其科研成果的隶属关系矩阵，而且矩阵中的各个元素是科学家们在论文中的排名次序识别符号。$S-P$ 矩阵的表示方法为 $S-P=((sp)_{ir})_{n\times y}$，其中 $(sp)_{ir}$ 表示第 $i$ 个科学家在第 $r$ 个科研成果中的贡献排名顺序（$i=1,2,\cdots,n$，$r=1,2,\cdots,y$）。可定义 $(sp)_{ir}=1/R_r^i$，在此，$R_r^i$ 是第 $i$ 个科学家在第 $r$ 个成果中的排名顺序，因为在大多数情况下，特别是在中国的学术环境中，第一作者往往被看作为对科研成果贡献最大的主体[25-27]。但是一个科研成果中作者们的重要程度可

谓是仁者见仁、智者见智的事情，因为在有些情况下，成果中的通讯作者[28]、最后一个作者[29 – 30]或者学生的导师[31]被认为是最重要的，而有些人认为，一个科研成果中的第一作者和最后一个作者扮演着更为重要的角色，而署名居于中间位置的作者并不重要[32]。在本文中，所采用的分析算法是学者 C. T. Zhang 对于作者在科研成果中不同贡献大小的研究[25]。如上所述，科学家在成果中的排名顺序的倒数被看作为贡献排序指标。

在 $S-P$ 矩阵的基础上，构建一个新的矩阵 $S-P(\omega) = (\omega)_r \cdot ((sp)_{ir})_{n\times y}$，其中 $\omega_r$ 是第 $r$ 个科研成果的权重系数，表征了第 $r$ 个科研成果的质量，包括所刊载期刊的重要级别、成果在发表后所产生的影响力（诸如他引频次和实际应用效益），$\omega_r$ 可以被定义为公式(1)：

$$\omega_r = \max\left[P_r(PIF)Score, \frac{AC_r}{P_r(PIF)} \times P_r(PIF)Score\right]$$

公式(1)

其中 $P_r(PIF)$ 为第 $r$ 个成果刊载源（所刊载出版物或期刊）的影响因子，$P_r(PIF)Score$ 为刊载源重要等级的相应得分（得分细则如表 1）。$AC_r$ 为第 $r$ 个成果的年均被引频次。对于一些新发表的成果而言，其 $AC_r$ 值往往低于其刊载期刊的影响因子，因此可以利用 $P_r(PIF)Score$ 作为其刊载源重要级别的相应得分。但是如果第 $r$ 个成果在其发表后如果年均被引频次非常多，其 $AC_r$ 值就会远远大于 $P_r(PIF)$，这样第 $r$ 个成果的重要性就会远远高于同一刊载源的其他成果[5]。因此上述对 $\omega_r$ 的定义是合理而有效的。$\omega_r \cdot (sp)_{ir}$ 表示第 $i$ 个科学家对第 $r$ 个科研成果的贡献当量。因此按照这种分析方法，如果有些科学家参与了高水平科研成果的研发工作，即使作为第二作者的科学研究当量可能要比某些低水平科研成果的第一作者的科学研究当量要大，有利于鼓励高水平的科研合作活动，符合大科学时代的知识创新模式。

## 4.2 构建 $P-Sf$ 矩阵

$P-Sf$ 矩阵是成果 – 主题领域（*Papers-Subject fields*）矩阵的简称，$P-Sf = (f^p_{rj})_{y\times x}$ 表示科研成果和相关主题领域的隶属关系矩阵，这些主题领域主要由科研成果中的关键词予以表征，矩阵中的元素表示这些科研成果覆盖哪些主题领域。如果第 $r$ 个科研成果覆盖了第 $j$ 个主题领域或者第 $r$ 个科研成果中有第 $j$ 个关键词，矩阵 $P-Sf$ 中的任意元素 $f^p_{rj}$ 的值为 1，即 $f^p_{rj}=1$，如果第 $r$ 个科研成果没有覆盖了第 $j$ 个主题领域或者第 $r$ 个科研成果中没有第 $j$ 个关键词，则 $f^p_{rj}=0$。

## 4.3 构建 $S-Sf$ 矩阵

将矩阵 $S-P(\omega)$ 和 $P-Sf$ 相乘，就会得到 $S-Sf = (f^s_{ij})_{nxx}$ 矩阵，该矩阵表示科学家与其主题领域的隶属关系。$S-Sf$ 矩阵中的任意元素 $f^s_{ij}$ 表示第 $i$ 个主体对于第 $j$ 个主题领域的累积研究经历，因此 $f^s_{ij}$ 可用公式(2)定义：

$$f^s_{ij} = \sum_{r=1}^{y} \omega_r \cdot (sp)_{ir} \cdot f^p_{rj} \qquad \text{公式(2)}$$

然后将矩阵 $S-Sf$ 转置成 $Sf-S = (f_{ij})_{x\times n}$，$f_{ij} = f^s_{ji}$，$f_{ij}$ 表示第 $j$ 个科学家是否有第 $i$ 个主题领域的研究经历。在矩阵 $Sf-S$ 中，虽然科研成果的数量、质量、成果所覆盖的主题领域以及科学家在成果中的排名顺序都被考虑进来，但是却没有考虑学术情境的差异，因为科学家所处情境的最低阈值要求和竞争者或同行的水平是有差别的。

## 4.4 对 $Sf-S$ 的隶属函数予以标准化

$Sf-S$ 矩阵中的所有元素是科学家在相关主题领域研究经历的绝对频次当量，第 $i$ 列代表第 $i$ 个科学家所涉猎的主题领域情况。因为每个主题领域都有自身的研究特色，诸如期刊数量、成果数量和科学家的数量在不同的领域都是有差异的，因此，通过科学家研究经历的绝对频次进行跨主题领域评价科研生产力是不恰当的。因此需要按照公式(3)中的算法对 $Sf-S$ 矩阵予以标准化[33]。

$$v_{ij} = \frac{f_{ij} - \min\limits_j(f_{ij})}{\max\limits_j(f_{ij}) - \min\limits_j(f_{ij})} \qquad \text{公式 (3)}$$

在该公式中，分母（$\max\limits_j(f_{ij} - \min\limits_j(f_{ij}))$）代表在第 $i$ 个主题领域中所有参评的科学家研究经历之间的最大势差，而分子（$f_{ij} - \min\limits_j(f_{ij})$）代表第 $j$ 个科学家与第 $i$ 个主题领域中研究经历最少的参评科学家之间的研究经历差距。因此，$Sf-S$ 矩阵可以被转化成隶属度矩阵 $V = (v_{ij})_{x\times n}$[34]。其中 $v_{ij}$ 是第 $j$ 个科学家在第 $i$ 个主题中研究经历的标准值。第 $j$ 个科学家在所有主题领域的研究经历可用向量 $V_j = (v_{1j}, v_{2j}, \cdots, v_{ij}, \cdots, v_{xj})^T$ 来表示，该向量由矩阵 $V$ 的第 $j$ 列元素构成。

## 4.5 应用情境：不同主题领域不同学术级别的最低阈值要求

假设按照科学家在各自领域的研究实力，可将他们分为 $t$ 个学术级别。每个主题领域都有自身的研究特点，因此不同主题领域不同级别科学家的最低阈值要求也是有差别的，可用矩阵 $B = (b_{ik})_{x\times t}$ 表示。其中 $b_{ik}$ 为第 $i$ 个主题领域的第 $k$ 个级别的科学家的最低阈

值要求，该数据可由所在学术情境中科学家的实际情况或者不同学术级别的实际要求来决定的。

因为科学家科研生产力的评估标准或者科学家学术级别的认定规则是因机构或参评情境而异的，不同的学术情境可谓千差万别。因此在不同的学术机构或学术评价活动中，同一级别科学家的最低阈值要求是有差异的，况且不同组织机构或不同应用情境中同一级别科学家的平均生产力水平也是有差异的。如果全世界同一领域的不同学术组织都采用统一的评估标准或阈值要求，这个问题就简单了，所以对科研生产力进行评价时，关键是所用的标准具有一致性。矩阵 B 同样可以被标准化处理，得到隶属度矩阵 $A=(a_{ik})_{x\times t}$，其中所有主题领域的第 $k$ 个级别的科学家的最低阈值要求可用向量 $A_k=(a_{1k},a_{2k},\cdots,a_{ik},\cdots,a_{xk})^{\mathrm{T}}$ 表示。

### 4.6 计算 $Q^2SRC$ – 指数

按照各个主题领域对人类的贡献或者组织对这些主题领域的评价级别，可以赋予这些主题领域不同的权重。对于第 $j$ 个科学家而言，所有主题领域的权重向量可以用 $\pi_j$ 来表示，如公式(4)所示：

$$\pi_j=(\pi_{1j},\pi_{2j},\cdots,\pi_{ij},\cdots,\pi_{xj})^{\mathrm{T}},\ j=1,2,\cdots,n \quad \text{公式(4)}$$

如果所有主题领域都被看作是同等重要的，$\pi_j$ 中的任意元素可设定为 1。

科学家科研生产力与这些级别最低阈值要求之间的距离可被用于确定第 $j$ 个科学家的标准生产力值是否达到这些级别的要求。距离越短，相似性越强，就意味着所评价的科学家越有可能处于目标级别。否则，如果差异越大，就意味着所评价的科学家越不可能处在目标级别。第 $j$ 个科学家与第 $k$ 个级别科学家的最低阈值要求之间的差距可用下列广义距离 $d_{kj}$[35] 表示：

$$d_{kj}=\|\pi_j|V_j-A_k|\|=[\sum_{i=1}^{X}(\pi_{ij}|v_{ij}-a_{ik}|)^p]^{\frac{1}{p}} \quad \text{公式(5)}$$

其中 $p$ 是距离参数，如果 $p=2$，$d_{kj}$ 就是欧式距离。如果 $X$ 个主题领域的 $n$ 个科学家可以被分成 $t$ 个级别，可创建如下隶属度函数 $U=(u_{kj})_{t\times n}$。其中 $u_{kj}$ 是第 $j$ 个科学家与第 $k$ 个级别的隶属度，也是第 $j$ 个科学家与第 $k$ 个级别的相关系数，并且这个相关系数满足公式(6)和(7)的约束条件。

$$0\leqslant u_{kj}\leqslant 1 \quad \text{公式(6)}$$

$$\sum_{k=1}^{t}u_{kj}=1 \quad \text{公式(7)}$$

第 $j$ 个科学家与第 $k$ 个级别科学家最低阈值要求的广义距离可以按照公式(8)的方法予以定义。

$$d_{kj}=[\sum_{i=1}^{X}(\pi_{ij}|v_{ij}-a_{ik}|)^p]^{\frac{1}{p}} \quad \text{公式(8)}$$

如果引入 $u_{kj}$ 这个权重系数来定义广义距离，这个广义距离可描述和定义成公式(9)：

$$D_{kj}=u_{kj}[\sum_{i=1}^{X}(\pi_{ij}|v_{ij}-a_{ik}|)^p]^{\frac{1}{p}} \quad \text{公式(9)}$$

因此问题就是选择合适的 $u_{kj}$ 使所有科学家和所有级别最低阈值条件的加权广义距离的平方和达到最小，可简化成公式(10)。

$$\min\{\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{t}D_{kj}^{\ 2}\}=\min\{\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{t}[u_{kj}[\sum_{i=1}^{X}(\pi_{ij}|v_{ij}-a_{ik}|)^p]^{\frac{1}{p}}]^2\}=\sum_{j=1}^{n}\min\{\sum_{k=1}^{t}[u_{kj}[\sum_{i=1}^{X}(\pi_{ij}|vj-a_{ik}|)^p]^{\frac{1}{p}}]^2\} \quad \text{公式(10)}$$

其中 $\sum_{k=1}^{t}u_{kj}=1$，这是公式(7)中的约束条件。该问题可通过构建拉格朗日函数来解决[36]，构建的拉格朗日函数如公式(11)所示：

$$L(u_{kj},\lambda)=\sum_{k=1}^{t}[u_{kj}[\sum_{i=1}^{X}(\pi_{ij}|v_{ij}-a_{ik}|)^2]^{\frac{1}{p}}]^2+\lambda(1-\sum_{k=1}^{t}u_{kj}) \quad \text{公式(11)}$$

$L$ 对 $u_{kj}(k=1,2,\cdots,t)$ 的偏导即是第 $j$ 个科学家对于第 $k$ 个级别的隶属度，得公式(12)：

$$u_{kj}=\frac{[\sum_{i=1}^{X}(\pi_{ij}|v_{ij}-a_{ih}|)^p]^{\frac{1}{p}}}{[\sum_{i=1}^{X}(\pi_{ij}|v_{ij}-a_{ik}|)^p]^{\frac{1}{p}}}\cdot u_{hj} \quad \text{公式(12)}$$

通过约束条件 $\sum_{k=1}^{t}u_{kj}=1$ 和公式(12)，可得公式(13)：

$$u_{hj}=\frac{1}{\sum_{k=1}^{t}\left[\frac{\sum_{i=1}^{X}(\pi_{ij}|v_{ij}-a_{ih}|)^p}{\sum_{i=1}^{X}(\pi_{ij}|v_{ij}-a_{ik}|)^p}\right]^{\frac{1}{p}}} \quad \text{公式(13)}$$

$u_{hj}$ 即是矩阵 $U$ 中元素的一般化表述形式，是第 $j$ 个科学家与第 $h$ 个学术级别的相关系数，也是 $Q^2SRC$ – 指数表征科学家科研生产力的一般化表述形式。

### 4.7 $Q^2SRC$ – 指数的论证解析

由公式(1)可知，有关科研成果质量或其影响力 $\omega_r$ 的定义融合了 $h$ 指数、$g$ 指数和 $SP$ 指数的优势，综合考虑了成果的潜在影响力和已经产生的影响力，将二者取其高值，既反映了科学家所处的高水平学术共同体的身份认同感，又可能凸显某些高水平成果所应该具有的学术地位和所处的学术阵营，克服了 $h$ 指数和 $g$ 指数仅仅依赖被引频次所表征的成果影响力的局限，融合了 $g$ 指数所反映的成果累积影响力和 $SP$ 指数有关成果的潜在影响力的双重优势。

从公式(13)可以看出，科学家与目标学术级别的

相关性不仅取决于科学家标准化研究经历与该学术级别最低阈值的差距，而且还取决于此目标级别差距与其他级别差距比例的累积情况，差距比例的累积情况越大，所评价的科学家与目标级别的相关系数越小，科学家越不属于这次级别的专业技术人才。因此需要在较高（或较低）级别层次上进行再次比较：如果在较高级别上相关系数有所优化，则说明该科学家属于较高级别的专业技术人才；如果在较低级别上相关系数有所优化，则说明该科学家属于较低级别的专业技术人才。

另外还可以跨学科或者跨研究主题领域对科学家生产力进行比较，因为无论是在哪种学术级别晋升或人才评价中，都涉及到具体名额的限制，会出现不同学科进行比较的尴尬态势。因此这个相关系数还有另外一个优势，不仅可以体现科学家研究经历与目标级别的差距，而且还会体现所在研究主题领域的研究态势，诸如类似于化学或材料等学科，发表影响因子比较高的期刊论文的概率要远远超过数学、控制科学等研究主题领域，因此往往来源于这些学科的科学家们去比较的时候，从事数学、控制科学等领域研究的人等明显处于劣势，所以该指数所体现的划分主题学科领域进行学术级别晋升和专业人才评价或遴选是合理的，即使有晋升或人才遴选名额限制，也能够体现学科之间的公平性。

当某些学术机构需要倾斜扶持和鼓励一些学科领域，就需要对这些学科领域赋予较高的权重，该指数中某个科学家所研究主题领域的权重系数 $\pi_{ij}$ 体现了上述思想，可以通过赋予不同的权重系数来体现不同研究主题领域的贡献。

## 5 应用案例分析

为便于分析和简约地说明问题，本应用案例仅以学术级别晋升中的职称晋升为例来辅助分析上述模型构建部分和实证论述所提指数的正确性和合理性。

### 5.1 数据来源

此案例选择了国内某个知名大学 H 的 54 个申请学术级别晋升的高校教师作为科学家科研生产力的研究样本，其主要研究主题领域集中于化学、物理、经济管理、人文科学、建筑、土木工程、市政和交通等。近几年这些科学家共发表了 854 篇科研成果，按照国内对期刊的认定标准将期刊分为若干个级别，诸如期刊被 SCI 收录或 SSCI 收录（这些被 SCI 或 SSCI 收录的期刊按照中国科学院的分区标准可分为 4 个区），被 EI 收录的期刊或会议论文，被 CPCI-S 或 CPCI-SSH 收录的会议论文，被 CSSCI 和 CSCD 收录的国内核心期刊论文，被中国国家自然基金委所认定的重要期刊和被 EI 收录期刊处于同样级别，而没有被中国国家自然科学基金委认定的期刊看作是和 CPCI-S 或 CPCI-SSH 认定的会议录处于同一级别。按照科学家及其所在研究领域对期刊或会议录的认定标准，本部分将赋予这些期刊或会议录所收录的论文以不同的分数。由于 H 大学的科研机构并没有对这些期刊论文赋予不同的分值，此部分将按照另外一所大学（HLJ）的科研成果刊载源分值认定规则赋予不同的分值。这些不同分值将代表科研成果的权重系数（$\omega$），如表 1 所示：

表 1 论文出版物级别和论文分值

| 出版物级别 | 出版物类型 | 论文分值 |
|---|---|---|
| 1 | 1 区 SCI | 90 |
| 2 | 2 区 SCI | 70 |
| 3 | 3 区 SCI | 60 |
| 4 | 4 区 SCI（EI 收录论文、国家自然科学基金委认定的重要期刊论文） | 50 |
| 5 | CSSCI 或 CSCD 收录的论文（非国家自然基金委认定的期刊）、CPCI-S 或 CPCI-SSH 收录的会议论文 | 40 |
| 6 | 非 CSSCI 或 CSCD 收录的国内期刊论文 | 30 |
| 7 | 国内会议论文 | 25 |
| 8 | 普通期刊论文 | 20 |
| 9 | 最低期刊论文 | 15 |

对上述数据源需要说明的是：从 H 大学的科研机构获取 54 个科学家在职称评聘时所提交的科研成果信息，但是 H 大学的科研机构没有提供这些期刊论文分值赋予信息，无法对其科研生产力进行量化评价，而 HLJ 大学的科研机构无法提供类似上述科研成果信息，但是该大学对科研成果刊载源分值赋予规则可以获取。这样本文就将 H 大学的 54 名科学家的科研成果信息置于 HLJ 大学的情境中，作为本文案例分析的数据基础，对 $Q^2SRC$－指数进行案例仿真分析，以提升其可理解程度。

中国科学院分区标准所参照的是论文所发表当年期刊所在的 SCI 情况，所以参照的年份以论文发表年份的 SCI 分区为准。分值是按照表 1 中的 SCI 期刊分区数值进行设定的。国家自然科学基金委认定的期刊分为 A 类和 B 类，虽然 A 类期刊相对较多一些，B 类期刊的论文质量也非常好，二者之间的差距不大，H 大学对于这两类期刊的认定是等同的，而且将其认定为 EI 期刊收录源刊，HLJ 大学对自然基金委的重要期刊没有认定标准，但是 HLJ 大学将 EI 收录源刊等同于 4 区

SCI 期刊，因此在文中将 4 区 SCI、EI 收录源刊以及国家自然基金委认定的重要期刊归为一类。

按照这些科学家论文的期刊等级、论文类型、论文分值和科学家们在各自论文中的贡献排序，计算每个科学家在各自主题领域的论文分值和总体分值。

### 5.2 计算过程与结果

5.2.1 构建矩阵$(S-f(\omega))_{54\times8}$ 按照公式(2)的算法，构建矩阵$(S-f(\omega))_{54\times8}$，然后将该矩阵转置成矩阵$(f-S(\omega))_{54\times8}$，矩阵$(f-S(\omega))_{54\times8}$中的所有元素即是不同领域科学家科研生产力的总和。与 $h$ 指数相比，$Q^2SRC$ - 指数在评价科学家生产力时，考虑了一个科学家的所有研究成果，而 $h$ 指数仅仅将被引用的成果纳入了科研生产力的评价范围，忽略了科学家对不同研究领域所做的贡献。因为在某些领域，科学家的 $h$ 指数一般较高，诸如生物或者化学领域，然而在数学领域，科学家的 h 指数相对较低，所以对于不同领域科学家水平的评价存在着障碍。

$h$ 指数在评定科学家科研生产力时，比较适用于那些科研成果受到引用的科学家，按照这个指数的逻辑，如果一个主体的成果在发表多年内没有受到重视甚至没有一次引用(睡美人论文在被发现之前)，那么该科学家的 $h$ 指数就是 0，但是该科学家科研生产力被认为很低或是 0，这显然是不客观的也是不科学的。

在以往多个研究指标中，合作者的贡献容易被忽略，而且合作者在成果中的排序也被忽略了，因此，同一作者在不同成果、不同团队、不同组织中的地位差异没有得到识别。在 $Q^2SRC$ - 指数中，在计算科学家的累积科研生产力分值时，所有作者在成果中的排序差异都被考虑了。

5.2.2 构建隶属度矩阵$(f-S)_{54\times8}$ 矩阵$(S-f)_{54\times8}$可以转置成矩阵$(f-S)_{54\times8}$，采用公式(3)中 $v_{ij}$的算法，矩阵$(f-S)_{54\times8}$可被标准化为矩阵 $V$，矩阵 $V$ 即是$(f-S)_{54\times8}$的隶属度矩阵。

5.2.3 学术情境：H 大学各学术级别的最低阈值要求 在 H 大学中，分别有 3 个学术级别的副教授(APA1、APA2 和 PA3)和教授(PA1、PA2 和 PA3)。每个级别的最低阈值要求都是由每个主题领域的特征和发展状况决定的。当测定其他科学家科研生产力时，将每个主题领域的现有副教授或教授按照科研生产力的高低进行降序排列，这样可将现有科学家分为 3 个部分，前三分之一科学家的平均生产力将是 APA3(PA3)的最低阈值要求，中间三分之一科学家的平均生产力将是 APA2(PA2)的最低阈值要求，最后三分之一科学家的平均生产力将是 APA1(PA1)的最低阈值要求。

依据上述级别划分标准，该大学每个领域每个级别科学家的最低阈值要求可用表 2 表示，而且表 2 中的所有元素被标准化处理后用表 2 相关元素括号内的元素表示。

所以对于同一领域的科学家而言，通过比较他们之间的科研生产力，即可确定他们的所属级别，而对于隶属于不同主题领域的科学家而言，这些最低阈值要求和科学家的生产力分值对于比较他们之间不同的生产力水平是无能为力的，因为纯粹靠生产力绝对分值的大小来比较不同领域的科学家科研生产力是不科学的。因此需要按照主题领域的不同计算拥有不同科研生产力的科学家究竟落位于哪些学术级别范畴内，即确定其科研生产力与学术级别范畴的相关性。

5.2.4 计算科学家的 $Q^2SRC$ - 指数：与不同学术级别的相关系数 假设所有主题领域都是同等重要的，所以对于第 $j$ 个科学家而言，其所有主题领域的权重向量元素都可以用 $\pi_j$ 表示，而且 $\pi_j=(\pi_{1j},\pi_{2j},\cdots,\pi_{ij},\cdots,\pi_{xj})^T=(1,1,\cdots,1,\cdots,1)^T, x=1,2,\cdots,8$ 。

按照公式(5)的算法，科学家科研生产力分值与所有学术级别最低阈值要求之间的距离。

按照公式(13)和公式(5)的算法以及科学家科研生产力分值与所有学术级别最低阈值要求之间的距离，可计算出所有科学家科研生产力与各个不同学术级别的相关系数($Q^2SRC$ - 指数)，见表 3。

5.2.5 案例分析结果与讨论 表 3 中的 $Q^2SRC$ - 指数不仅可以比较出同一主题领域的科学家科研生产力，而且还可以综合比较出不同主题领域科学家的科研生产力。因为该指数的重要价值之一就在于可以跨主题领域来评价不同研究背景科学家的科研生产力，特别是可用于评价具有交叉学科研究背景科学家的科研生产力，探究科学家们最擅长的研究领域。因此该指标还可用于科学家学术级别或职称晋升活动中，按照这种评价标准，可以完全突破在学术级别或职称晋升活动中类似于对科学家的从业时间等限制条件。

对于任何一个科学家而言，其与不同学术级别都展现出不同的相关系数(用前缀 CC2 表示)。总体来说，所有科学家与较低的学术级别有着更大的相关系数，而且同一领域科学家与不同级别的相关系数差异在较高级别展现得更为明显，从图 2a 至图 2f 可以看出(横轴为科学家科研成果的累积分值，纵轴为与相应学术级别的相关系数，用前缀 CC2 表示与某个级别的相关系数，诸如 CC2APA1 表示与 APA1 级别的相关系数)。

表 2　不同主题领域不同级别科学家的最低阈值要求(标准化最低阈值要求)

| 主题领域 f | APA1(ZAPA1) | APA2(ZAPA2) | APA3(ZAPA3) | PA1(ZPA1) | PA2(ZPA2) | PA3(ZPA3) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $f_1$ | 100(0) | 100(0) | 200(0.5) | 200(0.5) | 200(0.5) | 300(1) |
| $f_2$ | 100(0) | 100(0) | 200(0.5) | 200(0.5) | 200(0.5) | 300(1) |
| $f_3$ | 190(0) | 190(0) | 190(0) | 340(1) | 340(1) | 340(1) |
| $f_4$ | 180(0) | 190(0.045 454 545) | 250(0.318 181 818) | 340(0.727 272 727) | 270(0.409 090 909) | 400(1) |
| $f_5$ | 170(0) | 170(0) | 170(0) | 280(1) | 280(1) | 280(1) |
| $f_6$ | 230(0) | 230(0) | 230(0) | 280(1) | 280(1) | 280(1) |
| $f_7$ | 280(0) | 300(0.181 818 182) | 330(0.454 545 455) | 390(1) | 390(1) | 390(1) |
| $f_8$ | 170(0) | 170(0) | 170(0) | 300(1) | 300(1) | 300(1) |

表 3　所有科学家科研生产力与不同学术级别的相关系数($Q^2SRC$－指数)

| 科学家 S | APA1 | APA2 | APA3 | PA1 | PA2 | PA3 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $S_1$ | 0.498 577 | 0.379 171 | 0.094 991 | 0.009 577 | 0.010 213 | 0.007 471 |
| $S_2$ | 0.271 069 | 0.261 871 | 0.335 544 | 0.044 961 | 0.047 83 | 0.038 724 |
| $S_3$ | 0.351 331 | 0.323 906 | 0.251 892 | 0.025 211 | 0.026 839 | 0.020 821 |
| $S_4$ | 0.430 591 | 0.367 719 | 0.157 948 | 0.015 301 | 0.016 322 | 0.012 119 |
| $S_5$ | 0.361 834 | 0.331 038 | 0.239 273 | 0.023 587 | 0.025 157 | 0.019 11 |
| $S_6$ | 0.271 069 | 0.261 871 | 0.335 544 | 0.044 961 | 0.047 83 | 0.038 24 |
| $S_7$ | 0.366 231 | 0.333 913 | 0.233 847 | 0.022 956 | 0.024 486 | 0.018 567 |
| $S_8$ | 0.592 359 | 0.347 018 | 0.046 371 | 0.005 026 | 0.005 356 | 0.003 87 |
| $S_9$ | 0.478 136 | 0.378 924 | 0.111 409 | 0.011 065 | 0.011 801 | 0.008 666 |
| $S_{10}$ | 0.533 956 | 0.386 439 | 0.054 597 | 0.008 91 | 0.009 535 | 0.006 563 |
| $S_{11}$ | 0.449 851 | 0.391 754 | 0.101 986 | 0.020 132 | 0.021 608 | 0.014 668 |
| $S_{12}$ | 0.325 185 | 0.314 151 | 0.179 874 | 0.064 663 | 0.069 672 | 0.046 455 |
| $S_{13}$ | 0.445 271 | 0.390 419 | 0.105 23 | 0.021 087 | 0.022 638 | 0.015 354 |
| $S_{14}$ | 0.458 927 | 0.393 917 | 0.095 694 | 0.018 363 | 0.019 702 | 0.013 398 |
| $S_{15}$ | 0.456 973 | 0.393 507 | 0.097 032 | 0.018 73 | 0.020 097 | 0.013 662 |
| $S_{16}$ | 0.700 006 | 0.273 326 | 0.018 968 | 0.002 738 | 0.002 922 | 0.002 04 |
| $S_{17}$ | 0.439 063 | 0.388 357 | 0.109 684 | 0.022 453 | 0.024 11 | 0.016 333 |
| $S_{18}$ | 0.441 255 | 0.389 118 | 0.108 105 | 0.021 961 | 0.023 58 | 0.015 981 |
| $S_{19}$ | 0.509 575 | 0.393 637 | 0.065 547 | 0.011 135 | 0.011 925 | 0.008 18 |
| $S_{20}$ | 0.457 216 | 0.393 559 | 0.096 865 | 0.018 684 | 0.020 048 | 0.013 629 |
| $S_{21}$ | 0.416 609 | 0.378 659 | 0.126 051 | 0.028 103 | 0.030 205 | 0.020 374 |
| $S_{22}$ | 0.318 994 | 0.338 797 | 0.229 837 | 0.040 799 | 0.039 56 | 0.032 013 |
| $S_{23}$ | 0.329 369 | 0.349 95 | 0.219 239 | 0.036 799 | 0.035 903 | 0.028 739 |
| $S_{24}$ | 0.293 607 | 0.310 954 | 0.250 628 | 0.052 671 | 0.050 196 | 0.041 944 |
| $S_{25}$ | 0.327 526 | 0.347 981 | 0.221 193 | 0.037 48 | 0.036 527 | 0.029 294 |
| $S_{26}$ | 0.325 185 | 0.314 151 | 0.179 874 | 0.064 663 | 0.069 672 | 0.046 455 |
| $S_{27}$ | 0.552 793 | 0.378 304 | 0.047 62 | 0.007 581 | 0.008 108 | 0.005 595 |
| $S_{28}$ | 0.563 187 | 0.373 01 | 0.044 253 | 0.006 962 | 0.007 445 | 0.005 143 |
| $S_{29}$ | 0.528 309 | 0.388 465 | 0.056 931 | 0.009 369 | 0.010 028 | 0.006 898 |
| $S_{30}$ | 0.491 48 | 0.396 14 | 0.075 202 | 0.013 256 | 0.014 205 | 0.009 717 |
| $S_{31}$ | 0.574 075 | 0.366 934 | 0.041 053 | 0.006 387 | 0.006 829 | 0.004 723 |
| $S_{32}$ | 0.597 438 | 0.352 358 | 0.035 149 | 0.005 359 | 0.005 727 | 0.003 969 |
| $S_{33}$ | 0.544 412 | 0.382 171 | 0.050 577 | 0.008 136 | 0.008 704 | 0.006 |
| $S_{34}$ | 0.614 53 | 0.340 613 | 0.031 52 | 0.004 747 | 0.005 071 | 0.003 52 |
| $S_{35}$ | 0.554 132 | 0.377 652 | 0.047 168 | 0.007 497 | 0.008 019 | 0.005 533 |
| $S_{36}$ | 0.642 645 | 0.319 781 | 0.026 532 | 0.003 929 | 0.004 195 | 0.002 918 |

(续表3)

| 科学家 S | APA1 | APA2 | APA3 | PA1 | PA2 | PA3 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $S_{37}$ | 0.574 075 | 0.366 934 | 0.041 053 | 0.006 387 | 0.006 829 | 0.004 723 |
| $S_{38}$ | 0.356 604 | 0.339 579 | 0.165 622 | 0.049 417 | 0.053 224 | 0.035 555 |
| $S_{39}$ | 0.346 101 | 0.331 355 | 0.171 036 | 0.054 184 | 0.058 37 | 0.038 954 |
| $S_{40}$ | 0.390 273 | 0.363 471 | 0.144 759 | 0.036 273 | 0.039 026 | 0.026 197 |
| $S_{41}$ | 0.381 638 | 0.357 758 | 0.150 534 | 0.039 343 | 0.042 343 | 0.028 383 |
| $S_{42}$ | 0.325 185 | 0.314 151 | 0.179 874 | 0.064 663 | 0.069 672 | 0.046 455 |
| $S_{43}$ | 0.242 966 | 0.367 042 | 0.263 332 | 0.045 302 | 0.048 81 | 0.032 547 |
| $S_{44}$ | 0.259 093 | 0.572 08 | 0.127 288 | 0.014 832 | 0.015 933 | 0.010 774 |
| $S_{45}$ | 0.258 765 | 0.445 11 | 0.214 401 | 0.029 216 | 0.031 451 | 0.021 057 |
| $S_{46}$ | 0.256 686 | 0.430 863 | 0.224 251 | 0.031 535 | 0.033 955 | 0.022 711 |
| $S_{47}$ | 0.240 51 | 0.358 175 | 0.267 602 | 0.047 825 | 0.051 53 | 0.034 359 |
| $S_{48}$ | 0.424 464 | 0.381 855 | 0.119 016 | 0.026 711 | 0.028 793 | 0.019 161 |
| $S_{49}$ | 0.330 778 | 0.318 611 | 0.176 101 | 0.062 503 | 0.067 519 | 0.044 488 |
| $S_{50}$ | 0.432 024 | 0.385 455 | 0.114 33 | 0.024 364 | 0.026 202 | 0.017 625 |
| $S_{51}$ | 0.417 423 | 0.378 734 | 0.124 622 | 0.028 326 | 0.030 502 | 0.020 393 |
| $S_{52}$ | 0.537 081 | 0.385 231 | 0.053 355 | 0.008 668 | 0.009 276 | 0.006 388 |
| $S_{53}$ | 0.325 185 | 0.314 151 | 0.179 874 | 0.064 663 | 0.069 672 | 0.046 455 |
| $S_{54}$ | 0.354 77 | 0.338 166 | 0.166 61 | 0.050 226 | 0.054 097 | 0.036 131 |

所有科学家都可以在任何一个学术级别中找到自己的排名次序,所以凡是申请学术级别晋升或者参与评价的科学家即使所属主题领域不同也可以比较出彼此的科研生产力差异。例如,如果一个科学家想申请副教授的学术级别,这个科学家可以与其他申请副教授和教授的科学家之间进行科研生产力差异的比较。科学家的累积分数与每个学术级别之间呈现出不同的相关系数,但大致呈现出两种不同的相关性,负相关和正相关。科学家科研成果的累积分值与 APA1 级别相关系数呈现负相关,而与 APA2 级别相关系数所展现出来的关系并不明显,但是与其他更高级别相关系数呈现正相关关系。因为所有科学家的累积分值都远远高于其所在领域 APA1 级别的最低阈值要求,因此他们的累积分值与 APA1 级别的最低阈值要求差距越大,与 APA1 级别相关系数越小,因此累积分值与 APA1 级别相关系数呈现负相关。在图 2a 到图 2f 中有一个特殊点,这个特殊点在所有图的最右侧,是科学家 $S_{26}$ 的表征点,他的累积分值是 2 225。与其他科学家相比,科学家 $S_{26}$ 与 APA1 级别的相关系数较低,因为他的累积分值远远高于 APA1 级别最低阈值要求,因此距离远导致相关系数低。随着学术级别的提升,他与相应级别的相关系数都相对高于其他科学家与同一学术级别的相关系数。

科学家的科研生产力不仅与其成果的数量和质量有关,而且与他的同行(竞争者)和所在领域的发展情况相关。也许他在所有竞争者中非常优秀,但是其所在主题领域各个学术级别的最低阈值要求也很高,因此他与每个级别的相关系数也会相对较低。虽然有些科学家的科研成果累积分值不同,但由于其所在主题领域各个学术级别的最低阈值要求的差异,他们与某学术级别的相关系数可能是一样的,诸如累积分值分别为 502.5($S_{53}$), 681($S_{42}$), 750($S_{12}$) 和 2 225($S_{26}$)的四个主体与 PA3 的相关系数几乎是一样的,这表明较高的绝对分值并不代表与高级学术级别的相关系数会更高。所以 $Q^2SRC$ - 指数可以综合测定不同领域科学家的科研生产力,评价他们是否处于同一学术级别,体现了跨学科比较的公平性。同一主题领域科学家的科研生产力评价只需按照他们的累积分值排序即可,这是 $Q^2SRC$ - 指数评价科研生产力的特例。

APA1 是最低级别,所有的样本科学家分值都远远高于所属主题领域该级别的最低阈值要求,所以他们之间的距离很大,而且相关系数随着分值呈现递减趋势。

APA2 是次低级别,一些样本科学家的累积分值高于这个级别的最低阈值要求,一些科学家的累积分值低于这个级别的最低阈值要求,所以累积分值与相关系数之间没有呈现出清晰的规律。但是,从 APA3 级别到 PA3 级别,所有科学家与每个级别的相关系数呈现出单调递增的趋势。当然,一个无法改变的特征是同一级别的相关系数并不一定随着累积分值的提升而提高,图 2 中最右侧的特殊点可以完美地诠释这一点。

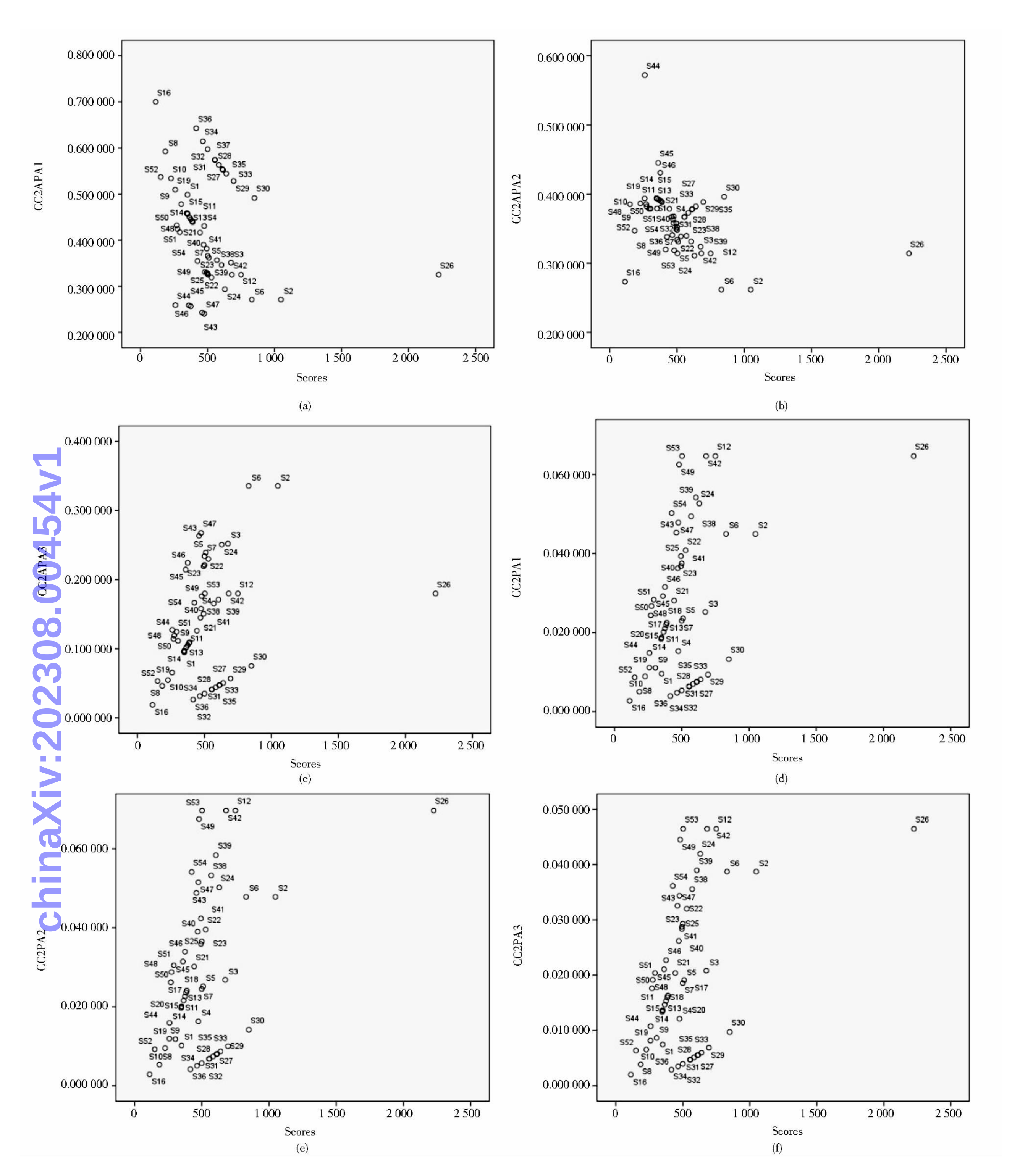



图 2　科学家的累积分值与 $Q^2SRC$ - 指数之间的关系

如果科学家的研究兴趣具有跨学科性,那么他的科研生产力是由其所擅长并具有比较优势的领域所决定的,他与最高学术级别的相关系数是其所擅长领域最高级别的最优相关系数,这也正是利用拉格朗日最优化分析的思想依据。例如,科学家 $S_{27}$、$S_{28}$、$S_{29}$、$S_{30}$、$S_{31}$、$S_{32}$、$S_{33}$、$S_{34}$、$S_{35}$、$S_{36}$、$S_{37}$、$S_{48}$、$S_{49}$、$S_{50}$ 和 $S_{51}$ 的研究兴趣都是 $f_5$ 领域,从图 3a 至 3f 可以看出,他们与较低学术级别的相关系数随着其科研生产力的提升而降低,与之形成鲜明对比的是,他们与较高学术级别的相关系数与其科研生产力呈现明显的正相关变化趋势。

在 $f_5$ 领域,有 4 位科学家与每个学术级别的相关系数都呈现出与其他科学家和每个学术级别相关系数

同样的关联规律，这 4 位科学家的标识点处于这些图的左侧部分。我们同样可以发现一个有趣的现象，尽管 $S_{48}$，$S_{49}$，$S_{50}$ 和 $S_{51}$ 等 4 位科学家在 $f_5$ 领域呈现出较低的科研生产力，但是他们与较高学术级别（从 APA3 级别到 PA3 级别）的相关系数却高于其他科学家与较高学术级别的相关系数，这是因为这些科学家与每个级别的相关系数是由他们最擅长的领域所决定或他们科研绩效最高的领域所决定的，除了 $f_5$ 领域，他们的研究兴趣点还体现在 $f_8$ 领域，该领域是他们最擅长的领域。

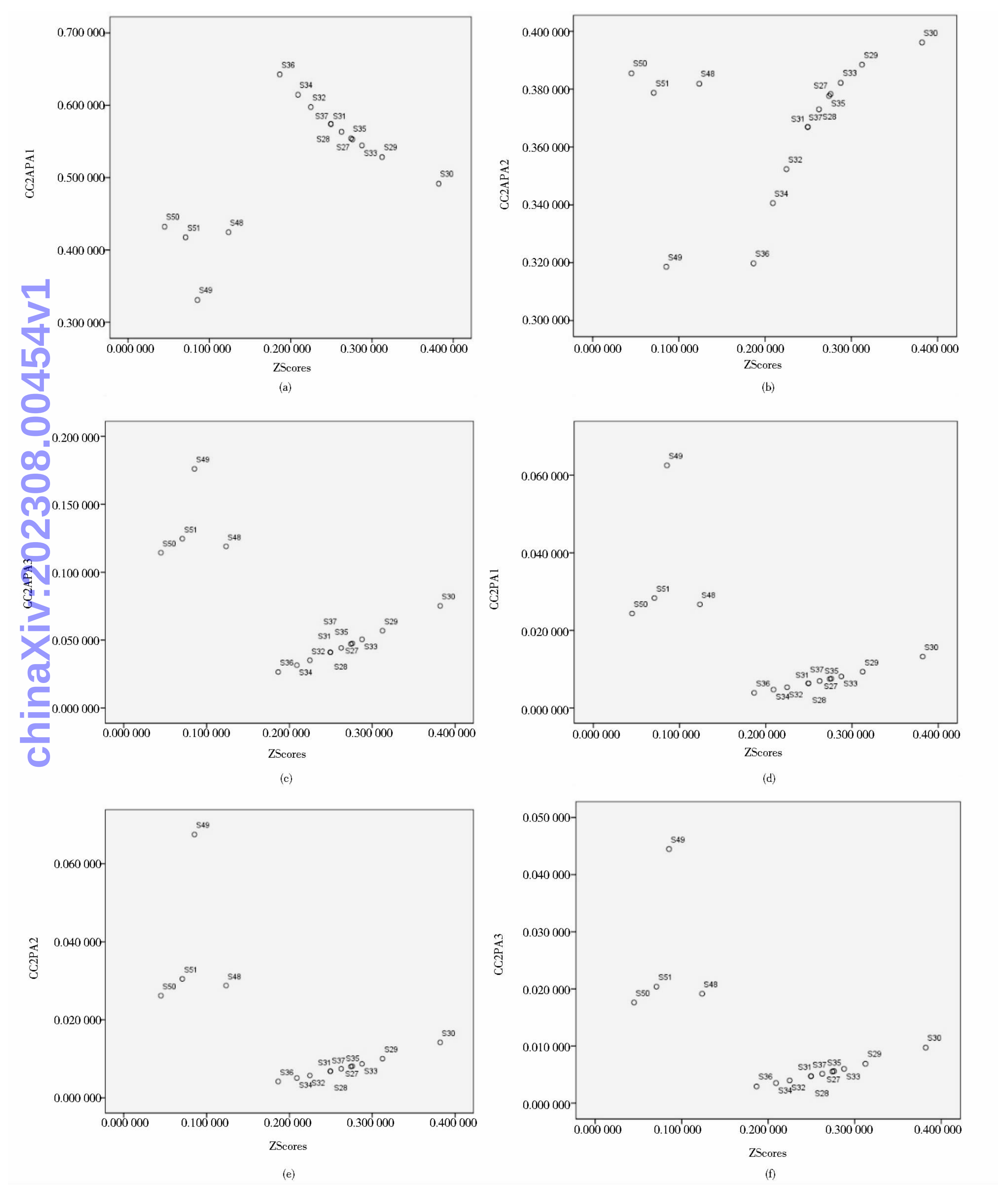



图 3 跨学科科学家科研生产力的标准化分值与 $Q^2SRC$－指数的关系

## 6 结论

$Q^2SRC$－指数提出的主要目标之一就是需要对跨学科领域的科学家科研生产力进行比较,因为往往在学术级别晋升的时候,诸如职称聘任或者人才评价的时候,涉及到名额限制,所以跨学科的科学家之间也会存在跨界竞争现象,如果都按照所取得成果的分值进行排序,势必出现某些学科范畴特别广,成果相对更容易刊发,这样分值会比较高,譬如在某些专业,累积分值达到 400 多分是比较高的,但是在其他专业累积分达到 800 分未必突出,所以仅仅依靠绝对分值进行比较势必不合理,诸如化学领域学科发展比较成熟且 SCI 期刊收录论文较多,而经济管理等领域 SCI 期刊收录论文相对较少。因此首先将各个科学家的科研生产力置身于各自的学科主题领域情境进行比较,然后再将其置于所在学术机构或学术评价环境等学术情境中进行横向比较。这从应用案例的数据仿真中也可以看出来,不同学科分值差距较大的两个科学家可能处于同一学术级别,体现了其跨学科评价的公平性。

通过上述分析发现,本文所提指数除了可以评价和比较同一领域或不同领域科学家的科研生产力以外,采用该指数来评价科学家科研生产力还有其他用途。对于任何一个科学家而言,即使他的成果没有被任何人引用,他们的科研生产力仍然可以按照成果本身和成果所刊载的期刊来评价。所以一定时间内没有任何被引频次的睡美人式的成果仍然可以按照他们所刊载的出版物来评价,并以此来挖掘这些成果的科研价值。在此部分研究中,只将发表这些样本成果的出版物作为这些论文价值的评价标准,而成果的被引频次没有被利用的原因是这些成果都是新刊出的,因此假定这些成果没有被其他成果引用,但这不会对该指标的应用带来负面影响,只需要给这些出版物赋予具体的分值。

可以说该指数适用于任何情境,只需各个学术机构对这些出版物的价值或引用频次的价值进行合理定义,特别当聘任学术级别或评价人才的名额极其有限时,该指标会特别有效地从多个学科的科学家中公平地评选出优秀人选,因此相对于使用绝对分数来测定科学家的科研生产力,该指数在综合测定或比较多个领域科学家的科研生产力时更有效。文中所提出的 $Q^2SRC$－指数算法在进行科研生产力评价时更加有效而且使用范围更广,如果评价或比较一个主题领域科学家的科研生产力时,使用绝对分值的确比较方便,这仅仅是该指数的一个应用特例。



**参考文献:**

[1] LOTKA A. The frequency distribution of scientific productivity [J]. Journal of the Washington Academy of Sciences, 1926, 16 (12), 317－323.

[2] SOBRINO M I M, CALDES A I P, GUERRERO A P. Lotka law applied to the scientific production of information science area[J]. Brazilian journal of information science, 2008, 2(1):16－30.

[3] HIRSCH J E. An index to quantify an individual's scientific research output [J]. Proceedings of the national academy of sciences, 2005, 102(46):16569－16572.

[4] EGGHE L. An econometric property of the g-index[J]. Information processing & management, 2009, 45(4):484－489.

[5] DODSON M V, DUARTE M D S, DIAS L A D S. SP-index: The measure of the scientific production of researchers[J]. Biochemical and biophysical research communications, 2012, 425(4):701－702.

[6] WU J. Investigating the universal distributions of normalized indicators and developing field-independent index[J]. Journal of informetrics, 2013, 7(1):63－71.

[7] LIU C, SHAN W, YU J. Shaping the interdisciplinary knowledge network of China: a network analysis based on citation data from 1981 to 2010[J]. Scientometrics, 2011, 89(1): 89－106.

[8] FRANCESCHINI F, GALETTO M, MAISANO D, et al. The success-index: an alternative approach to the h-index for evaluating an individuals research output [J]. Scientometrics, 2012, 92 (2): 624－641.

[9] 谭雷,庄新田,韩鹏. 基于数据挖掘的高校人才科研能力综合评价方法研究[J]. 东北大学学报(社会科学版), 2014, 16(6): 596－600.

[10] 黄富琨. 我国图情档学科科研生产力——基于 C－100 指数的分析[J]. 图书馆论坛, 2018, 38(3):52－59.

[11] 李玉凤,杨芳. 基于论文指标的宁夏科技创新主体创新能力评价研究[J]. 科技管理研究, 2016, 36(22):72－77.

[12] 叶鹰. 一种学术排序新指数－f 指数探析[J]. 情报学报, 2009, 28(1):142－149.

[13] 薛霏,莱兹多夫,叶鹰. 学术评价的多变量指标探讨[J]. 中国图书馆学报, 2017, 43(4):63－73.

[14] ALLISON P D, PRICE D D S, GRIFFITH B C, et al. Lotka's law: a problem in its interpretation and application[J]. Social studies of science, 1976, 6(2):269－276.

[15] NAH I W, KANG D S, LEE D H, et al. A bibliometric evaluation of research performance in different subject categories[J]. Journal of the society for information science and technology, 2009 (60): 1138－1143.

[16] LIU X Z, FANG H. Modifying h-index by allocating credit of multi

-authored papers whose author names rank based on contribution [J]. Journal of informetrics, 2012, 6(4), 557 – 565.

[17] SHENHAV Y A, HABERFELD Y. The various faces of scientific productivity: a contingency analysis [J]. Quality & quantity, 1988, 22(4):365 – 380.

[18] ZHAO L M, ZHANG Q P, WANG L. Benefit distribution mechanism in the team members' scientific research collaboration network[J]. Scientometrics, 2014,100(2):363 – 389.

[19] 刘永,许烨婧. 面向情境的情报服务理论问题研究[J]. 情报理论与实践, 2013, 36(11):1 – 4,19.

[20] 曹高辉,徐元,梁梦丽,等. 基于情境的信息融合模型研究[J]. 情报学报, 2017, 36(6):537 – 546.

[21] 辛文卿. 知识转移过程中的社会互动与情境转换分析[J]. 情报杂志, 2010, 29(S2):162 – 164.

[22] 李容. 科研成果在职称晋升中的信号与甄别作用研究[J]. 科研管理, 2013, 34(11):114 – 123.

[23] 盛楠, 孟凡祥, 姜滨, 等. 创新驱动战略下科技人才评价体系建设研究[J]. 科研管理, 2016, 37(S1):602 – 606.

[24] WASSERMAN S, FAUST K. Social network analysis: methods and applications[M]. New York: Cambridge University Press, 1994.

[25] ZHANG C T. A proposal for calculating weighted citations based on author rank[J]. EMBO reports, 2009, 10(5): 416 – 417.

[26] RIESENBERG D, LUNDBERG G D. The order of authorship: who's on first? [J]. The Journal of the American Medical Association, 1990, 264(14):1857.

[27] LAKE D. Who's on first? Listing authors by relative contribution trumps the alphabet[J]. Political science and politics, 2009, 43(1):43 – 47.

[28] OSBORNE J W, HOLLAND A. What is authorship, and what should it be? a survey of prominent guidelines for determining authorship in scientific publications[J]. Practical assessment, research & evaluation, 2009, 14(15): 1 – 19.

[29] DANCE A. Who's on first? [J]. Nature, 2012(489):591 – 593.

[30] TSCHARNTKE T, HOCHBERG M, RAND T, et al. Author sequence and credit for contributions in multiauthored publications [J]. Plos biology, 2007, 5(1): 13 – 14.

[31] FINE M A, KURDEK L A. Reflections on determining authorship credit and authorship order on faculty-student collaborations[J]. American psychologist, 1993, 48(11):141 – 1147.

[32] AZIZ N A, ROZING M P. Profit(p)-index: The degree to which authors profit from co-authors[J]. Plos ONE, 2013, 8(4):1 – 7.

[33] LI D F. Multiattribute decision making models and methods using intuitionistic fuzzy sets[J]. Journal of computer and system sciences, 2005, 70(1):73 – 85.

[34] XU Z S. Some similarity measure of intuitionistic fuzzy sets and their applications to multiple attribute decision making[J]. Fuzzy optimization and decision making, 2007, 6(2):109 – 121.

[35] SIT A, WU Z J. Solving a generalized distance geometry problem for protein structure determination [J]. Bulletin of mathematical biology, 2011, 73(12): 2809 – 2836.

[36] KIM D S, SON T Q. Some new properties of the lagrange function and its applications[J]. Fixed point theory and applications, 2012(1):1 – 7.



**作者贡献说明:**

赵丽梅:负责论文框架设计、数据分析、论文撰写及观点提炼;

马海群:负责论文思路把关。

## $Q^2SRC$-index: A New Measure for Evaluating Scientist Research Productivity Based on Context

Zhao Limei[1,2] Ma Haiqun[1]

[1] Research Center of Information Resources Management, Heilongjiang University, Harbin 150080

[2] Philosophy of Postdoctoral Research Station, Heilongjiang University, Harbin 150080

**Abstract:** [**Purpose/significance**] Research productivity has been the scholars' research interested focus, which has been studied from both papers' quantity and quality(citations). As it is presented that scientists have various citation behaviors or papers' quality is various in different fields, and it is not only necessary that their productivities can be evaluated in different fields, but also it needs to measure and evaluate the scientists' productivities concerning different professional levels, different-size institutions, and papers in different journals. However, in the existing indices, the context characteristics are not considered, while there are different requirement thresholds for the same professional level or different professional levels in the same or various institutions, the characteristics of scientists' situated context is precisely the reference criterion of their efforts, and the co-authors' contributions are ignored for analyzing scientists' productivities, which is not corresponding to the research requirements of big science era. [**Method/process**] Based on the efforts and

shortcomings of the existing evaluation indices, the $Q^2SRC$-index is presented to evaluate scientists' research productivities, with concerns of papers' quantity and quality(Q&Q, Q2), subject fields(S), scientists' rankings in papers(R), and different requirement thresholds for the same or different professional levels indicating scientists' contexts (C), which is more emphasized. [**Result/conclusion**] The measure is not only the theory model to be used to evaluate the scientists' research productivities comprehensively and compare them from different disciplinary backgrounds, but also it is practical and can be considered as the basis for scientists' professional promotions when there are limited professional positions in their institutions.

**Keywords:** bibliometrics measures　$Q^2SRC$-index　research productivities　professional level promotion　talent evaluation



**"学科服务创新与深化"高层论坛(2018)即将举办**

1998年,清华大学图书馆在国内率先开创了大学图书馆学科服务与学科馆员制度的探索。当前,学科服务已经成为大学图书馆主流业务和服务模式的核心组成内容。

2008年,为纪念学科馆员制度建立10周年,清华大学图书馆、中国科学院文献情报中心曾主办"学科服务创新与深化"高级论坛(2008)。

2018年,值此学科馆员制度建立20周年之际,清华大学图书馆与《图书情报工作》杂志社再次联合主办"学科服务创新与深化"高层论坛,旨在对过去二十年学科服务进行总结回顾,分享学科服务成功实践,构建学科服务新模式、新机制与新能力,进而推动国内学术图书馆学科服务的发展。

**一、会议时间、地点**

会议时间:2018年12月21日

会议地点:清华大学图书馆

**二、会议主题与形式**

1、会议主题:学科服务创新与深化

分主题:

- 图书馆学科服务的理论建设与主要成就
- 学科馆员制度的建立与优化
- 嵌入式学科服务及其对教学、科研、管理的影响
- 图书馆学科服务模式演化与机制建设
- 学科馆员的团队与能力建设
- 新技术在学科服务过程中的应用
- 国外学科馆员制度与学科服务
- 学科服务的未来发展趋势与前瞻设计

2、会议形式:专家主旨报告与专题研讨

**三、参会人员**

各级各类图书馆馆长、从事学科服务的图书馆员或相关院系教师。

**清华大学图书馆**

**《图书情报工作》杂志社**

**2018年12月10日**